

Textile Journal of Uzbekistan

Volume 5 | Number 1

Article 5

12-18-2019

Effect of elastic funnel work on unevenness pneumomechanical yarn

J.K. Gafurov

Tashkent institute of textile and light industry, Tashkent, Uzbekistan

B.M. Mardonov

Tashkent institute of textile and light industry, Tashkent, Uzbekistan

K.G' G'ofurov

Tashkent institute of textile and light industry, Tashkent, Uzbekistan

Sh.F. Maxkamova

Tashkent institute of textile and light industry, Tashkent, Uzbekistan

Follow this and additional works at: <https://uzjournals.edu.uz/titli>

Recommended Citation

Gafurov, J.K.; Mardonov, B.M.; G'ofurov, K.G'; and Maxkamova, Sh.F. (2019) "Effect of elastic funnel work on unevenness pneumomechanical yarn," *Textile Journal of Uzbekistan*: Vol. 5 : No. 1 , Article 5.

Available at: <https://uzjournals.edu.uz/titli/vol5/iss1/5>

This Article is brought to you for free and open access by 2030 Uzbekistan Research Online. It has been accepted for inclusion in Textile Journal of Uzbekistan by an authorized editor of 2030 Uzbekistan Research Online. For more information, please contact sh.erkinov@edu.uz.

УДК677.052.98

ВЛИЯНИЕ РАБОТЫ УПРУГОЙ ВОРОНКИ НА НЕРОВНОТУ ПНЕВМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ПРЯЖИ

Ж.К.Гафуров, Б.М.Мардонов, К.Г.Гафуров, Ш.Ф.Махкамова

Tashkent Institute of Textile and Light Industry

Annotatsiya. Maqolada qayishqoq elementli ip o'tkazuvchi voronkasini qo'llanilganda OE iplarining tarangligini o'rganish natijalari keltirilgan. OE iplarining tuzilishi va fizik-mexanik xususiyatlarini yaxshilash imkoniyatlari nazariy va eksperimental ravishda o'rganildi. Taranglik o'zgarishini unga ta'sir etuvchi omillar, ya'ni ip o'tkazuvchi voronka massasi, qayishqoq element bikrligi, voronka sirtida ipning koordinatlari, ipning harakat tezligiga bog'liqligi olinib, ularni qiymatlari ipning tarangligini o'zgarishlarini keltirib chiqaradi va shuning uchun uning tarkibiy tuzilishi va xususiyatlariga ta'sir ko'rsatadi. Bunda ipning to'g'ri chiziqli harakatlanish zonasining uzunligi qismi ip o'tkazuvchi voronkaning yoy qismi uzunligidan bir necha marta katta, voronka faqat vertical yo'nalishda harakatlanadi, ipning voronka sirti bilan kontakti sirtidan chiqish nuqtasida bo'lganligi uchun mazkur qismda ip harakatining tebranish jarayoniga ta'siri hisobga olinmay ip tarangligi o'zgarishiga voronka massasi, qayishqoq element bikrligi hamda ipning harakat tezligi ta'sir etishi nazariy aniqlangan. Tajribada qayishqoq elementli ip o'tkazuvchi voronka ishlatish natijasida ipning sifat ko'rsatkichlari bo'yicha notekisligini kamaytirish mumkinligi isbotlangan va voronka massasi, qayishqoq element bikrligi hamda ipning harakat tezligini tanlash yo'li bilan boshqarish mumkin.

Аннотация. В статье приводятся результаты исследования натяжения OE пряжи с применением нитеотводящей воронки с упругим элементом. Теоретически и экспериментально исследованы возможности улучшения структуры и физико-механических свойств OE пряжи. Получены зависимости изменения натяжения от влияющих на него факторов, т.е. массы нитеотводящей воронки, жесткости упругого элемента, координат нити на поверхности воронки и скорости движения нити, величины которых вызывают колебания натяжения пряжи и, следовательно, её структурного строения и свойств. При этом принимается, что длина прямолинейной зоны движения нити неоднократно превышает длину дуги контакта нити с поверхностью воронки, которая совершает колебательное движение только в вертикальном направлении. Контакт нити с поверхностью воронки происходит в точке схода с поверхности, и в связи с этим, не учитывая влияние движения нити на данном участке на колебательный процесс, теоретически было определено влияние массы воронки, коэффициента жесткости упругого элемента, а также скорости выпуска пряжи на изменение натяжения нити. Экспериментально доказано, что в результате применения нитеотводящей воронки с упругим элементом достигается уменьшение неровноты по свойствам пряжи, что легко регулируется выбором массы воронки, коэффициента жесткости упругого элемента и скорости прядения.

Abstract. The article presents the results of a study of the tension of OE yarn using a yarn funnel with an elastic element. The possibility of improving the structure and physico-mechanical properties of OE yarn is researched theoretically and experimentally. The dependences of the change in tension on the factors influencing it are obtained, i.e. the mass of the thread outlet funnel, the stiffness of the elastic element, the coordinates of the thread on the surface of the funnel and the speed of the thread, the values of which cause fluctuations in the tension of the yarn and, therefore, its structural structure and properties as well. It is assumed that the length of the rectilinear zone of movement of the thread repeatedly exceeds the length of the arc of contact of the thread with the surface of the funnel, which oscillates only in the vertical direction. The contact of the thread with the surface of the funnel occurs at the point of descent from the surface and therefore, without taking into account the effect of the movement of the thread in this area on the oscillatory process, it was theoretically determined the effect of the mass of the funnel, the stiffness

coefficient of the elastic element, as well as the speed of release of the yarn. It has been experimentally proved that as a result of the use of a filler funnel with an elastic element, unevenness is reduced by the properties of the yarn, which is easily controlled by the choice of the funnel mass, the stiffness coefficient of the elastic element and the spinning speed.

Key words: yarn funnel, elastic element, spinning machine, thread, stiffness coefficient

Актуальность. Расширение ассортимента пряжи и интенсивное повышение спроса на нее привело к совершенствованию оборудования, осуществляющего технологические процессы её формирования. Возникла необходимость определения и изучения всех факторов, влияющих на структуру и свойства пряжи, их анализа и нахождения соответствующих решений. Для обеспечения требований спроса наряду с технологическим качеством следует обратить внимание и на потребительское качество производимой пряжи. Такая ситуация явилась основанием для разработки новых всеобъемливающих научных и практических подходов учёных и специалистов в текстильной промышленности.

В последнее время в результате резкого увеличения скорости ОЕ прядения производительность машины увеличилась, а качественные показатели производимой пряжи ухудшились, т.е. неровнота по её структуре и свойствам увеличилась [1-4]. Исследованиям по оценке структуры и свойств ОЕ пряжи посвящен ряд работ [5-18]. Описываются особенности структурного строения ОЕ пряжи. Для изучения структурного строения использована микроскопия, метод поперечных срезов, с помощью которого оценена миграция волокон в пряже [5-10]. Также структура оценивается по результатам процессов формирования пряжи и определения её свойств [11-12]. Также проведены исследования по определению влияния параметров прядильной камеры на структуру и свойства пряжи. Следует отметить, что с увеличением скорости прядильной камеры неровнота пряжи растёт, что является нежелательным явлением [3]. В результате этого качество продукции, производимой из такой пряжи и соответственно её конкурентоспособность, снижается. Исследованы также особенности структурного строения комбинированной ОЕ пряжи [13-16]. Однако, в приведенных выше работах не встречаются рекомендации по улучшению структуры и свойств ОЕ пряжи, производимой при высоких скоростях. С целью улучшения структуры и свойств ОЕ пряжи и повышения конкурентоспособности изготавливаемых текстильных изделий из неё, возникает необходимость совершенствования конструкции рабочих органов, которые влияют непосредственно на структурные изменения, т.е. на натяжение пряжи. Для достижения этой цели предложено устройство нитеотводящей упругой воронки [17] и исследована её работа, в результате которой доказаны её преимущества [18].

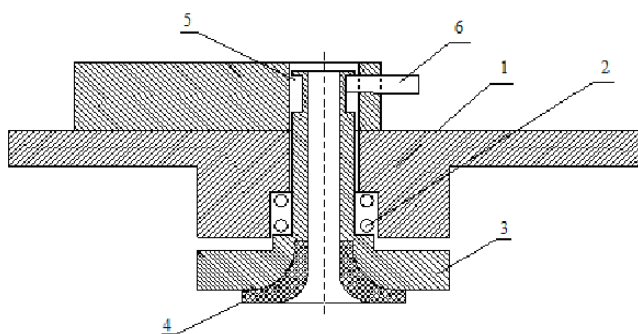


Рис.1. Пряжевыводящая воронка с упругим элементом

- 1- сепаратор корпуса, 2- пружина,
2- основа воронки, 4- воронка,
5- выемка, 6- фиксатор.

Теоретическое исследование. Для определения сглаживания колебаний натяжения пряжи, формируемой в прядильной камере, была составлена схема (рис.2) и аналитически исследована работа упругого нитепроводника. При этом сделаны следующие допущения: 1. Принимается, что длина прямолинейной зоны нити неоднократно превышает длины дуги контакта нити с поверхностью воронки (тела), т.е. полагается $L \gg AB$; 2. Тело совершает колебательное движение только в вертикальном направлении; 3. Контакт нити с телом происходит в точке B

и в связи с этим влияние движения нити на участке AB на колебательный процесс тела не учитывается.

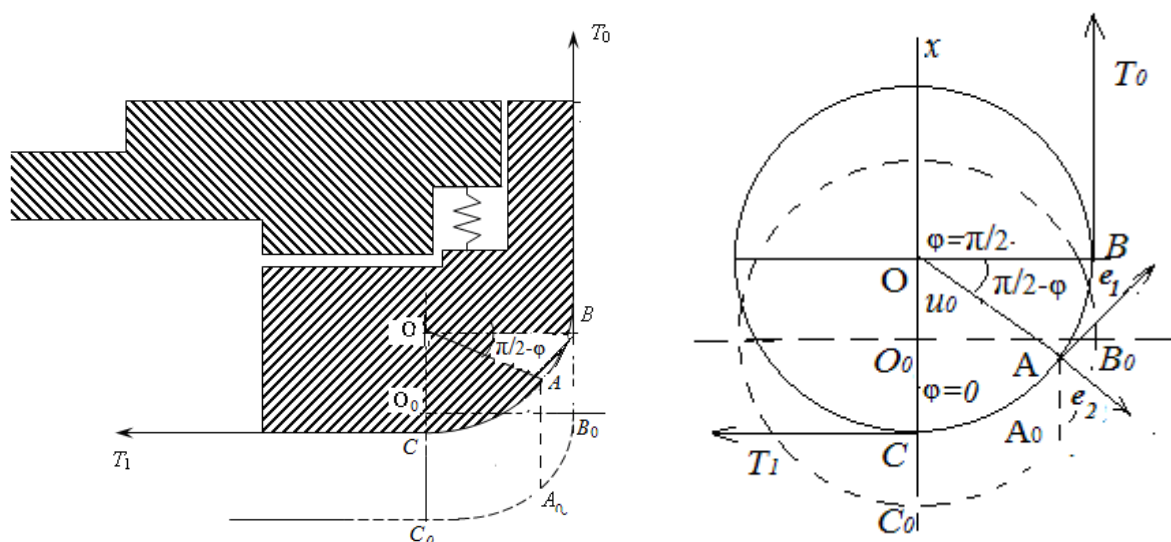


Рис.2. Схема анализа работы пряжевыводной воронки с упругим элементом

Пусть точки нити участка в виде дуги окружности BC совершают движение относительно тела 4 с постоянной скоростью v . При этом твердое тело 4 вместе с основой 3 (рис.1) с упругим элементом (пружиной), совершает вертикальное движение по закону $u_0(t)$. При наличии движущегося тела каждая точка нити участка BAC , кроме относительного вдоль дуги BC , совершает в вертикальном направлении переносное движение по закону $u_0(t)$. Вводя угловую координату $s = R\varphi$, записываем уравнение движения нити вдоль дуги контакта $0 < \varphi < \pi/2$, предложенное в работе [18].

$$\frac{1}{R} \frac{\partial(T - \mu v^2)}{\partial \varphi} \vec{e}_1 + \frac{1}{R} (T - \mu v^2) \vec{e}_2 + \vec{F} = \mu \vec{w}_e + \mu \vec{w}_c \quad (1)$$

где, R - радиус дуги CB , м; T - натяжение, Н; μ - погонная масса нити, кг/м; \vec{e}_1 и \vec{e}_2 - единичные векторы, направленные соответственно по касательной и нормали к дуге контакта CB ; \vec{w}_e - вектор переносного ускорения точек нити, м/с²; \vec{w}_c - вектор кориолисова ускорения, м/с²; \vec{F} - контактная сила между нитью и поверхностью тела, Н. В рассматриваемом случае отсутствует переносное вращательное движение тела, поэтому следует полагать $\vec{w}_c = 0$. Вектор переносного ускорения \vec{w}_e при вертикальном движении тела представим через единичные векторы \vec{e}_1 и \vec{e}_2 , т.е.

$$\vec{w}_e = \ddot{u}_0 (\vec{e}_1 \sin \varphi - \vec{e}_2 \cos \varphi) \quad (2)$$

В результате контакта нити с поверхностью тела возникают касательная и нормальная силы, интенсивность которых обозначаем соответственно через τ и q , т.е. полагаем

$$\vec{F} = -\tau \vec{e}_1 - q \vec{e}_2 \quad (3)$$

Далее принимаем выполнение на контактной линии условия Кулона-Амонтона, т.е. полагаем $\tau = fq$ (где f - коэффициент трения между нитью и поверхностью тела).

Уравнение (1) с учетом равенств (2) и (3) в проекциях в направлениях векторов \vec{e}_1 и \vec{e}_2

$$\frac{1}{R} \frac{\partial(T - \mu v^2)}{\partial \varphi} - \tau = \mu \ddot{u}_0 \sin \varphi \quad (4)$$

$$\frac{T - \mu v^2}{R} - q = -\mu \ddot{u}_0 \cos \varphi \quad (5)$$

Учитывая условия $\tau = fq$, составим уравнение для определения натяжения T

$$\frac{\partial(T - \mu v^2)}{\partial \varphi} - f(T - \mu v^2) = R\mu \ddot{u}_0 (\sin \varphi + f \cos \varphi)$$

Интегрируя это уравнение с условием $T = T_0$ при $\varphi = \pi/2$, получаем

$$T = (T_0 - \mu v^2) e^{f(\varphi - \pi/2)} - e^{f\varphi} R\mu \ddot{u}_0 \int_{\varphi}^{\pi/2} (\sin t + f \cos t) e^{-ft} dt + \mu v^2$$

Вычислив интеграл, окончательно получаем

$$T = (T_0 - \mu v^2) e^{f(\varphi - \pi/2)} - R\mu \ddot{u}_0 \cos \varphi + \mu v^2 \quad (6)$$

Если полагать в формуле (6) $\ddot{u}_0 = 0$, то можно получить выражение для натяжения, полученное в работе [6].

Теперь определяем результирующую силу, действующую на тело с помощью интеграла

$$Q = R \int_0^{\pi/2} \tau \sin \varphi d\varphi = Rf \int_0^{\pi/2} q \sin \varphi d\varphi$$

Используя выражение q из (5), получаем

$$Q = f \int_0^{\pi/2} [(T_0 - \mu v^2) e^{f(\varphi - \pi/2)} - R\mu \ddot{u}_0 \cos \varphi] \sin \varphi d\varphi = f \frac{(T_0 - \mu v^2)(e^{f\pi/2} - f)}{1 + f^2} - R\mu \ddot{u}_0 / 2$$

Теперь составим уравнение движения тела

$$M_1 \ddot{u}_0 = -Mg + Q = -Mg + f \frac{(T_0 - \mu v^2)(e^{f\pi/2} - f)}{1 + f^2} - k_0 u_0$$

где $M_1 = M + M_n$, M – масса тела, $M_n = R\mu/2$ – присоединенная масса, k_0 – коэффициент жесткости упругого элемента. Решение последнего уравнения, удовлетворяющее нулевым начальным условиям, имеет вид

$$u_0 = \frac{A_0}{\omega^2} (1 - \cos \omega t)$$

$$\text{где } A_0 = \frac{M}{M_1} \left[f \frac{(T_0 - \mu v^2)(e^{f\pi/2} - f)}{M(f^2 + 1)} - g \right], \quad \omega = \sqrt{\frac{k_0}{M_1}}$$

Для реализации колебательного процесса с положительным ускорением в начальный момент времени следует требовать выполнения условия для натяжения T_0

$$T_0 > T_* = \mu v^2 + \frac{f^2 + 1}{f(e^{f\pi/2} - f)} Mg$$

T_* – суммарное натяжение, связанное со скоростью нити (первое слагаемое) и движением тела (второе слагаемое). При $T_0 < T_*$ значение натяжения на выходе из дуги контакта будет недостаточно для реализации колебательного процесса. Натяжение нити при наличии колебательного процесса описывается уравнением

$$T = (T_0 - \mu v^2) e^{f(\varphi - \pi/2)} - R\mu A_0 \cos \omega t \cos \varphi + \mu v^2$$

На рис. 3-4 представлены кривые изменения натяжения нити T (сН) по времени t (сек) и угла φ (град) для различных значений относительной скорости v (м/с) и массы тела M (кг). В расчетах принято $T_0 = 20$ сН, $\alpha = 90^\circ$, $\mu = 4 \cdot 10^{-5}$ кг/м, $f = 0.3$, $k_0 = 20$ Н/м. Черными прямыми линиями показано натяжение нити при отсутствии упругого элемента. Видно, что наличие упругого элемента в движущейся части тела приводит к появлению колебательного процесса, где амплитуды колебаний натяжения имеют равные

положительные и отрицательные отклонения от величины натяжения при отсутствии упругого элемента, и этот эффект проявляется при малых массах тела и высокой относительной скорости нити вдоль дуги контакта. При сравнительно больших значениях массы тела ($M > 10^{-3}$ кг) эффект колебаний натяжения от времени практически отсутствует. Колебание натяжения нити по времени может изменить ее структурное строение и таким образом, положительно влиять на уменьшение неровноты нити по структуре. При малых скоростях нити колебательный процесс начинает влиять при входе нити в дуге контакта (рис.3, 4), а при больших скоростях эффект влияния колебаний происходит при сходе нити из зоны контакта (рис.5).

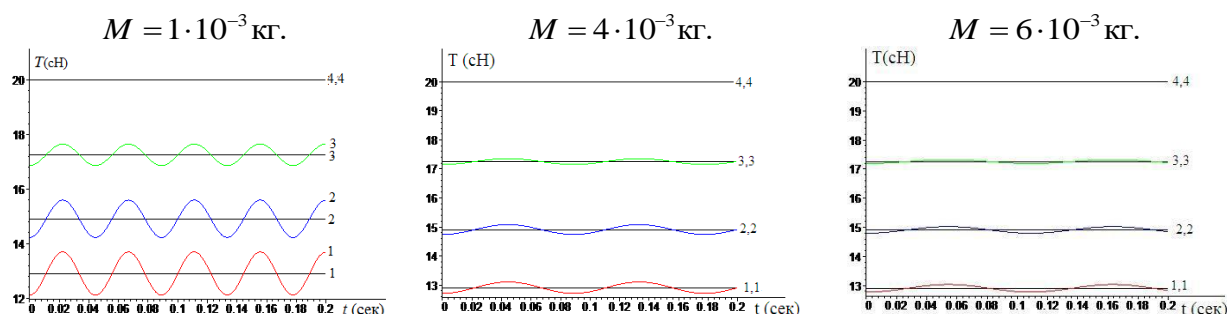


Рис.3 Изменение натяжения по времени в различных углах φ дуги контакта при относительной скорости нити $v = 10$ м/мин и различных значениях массы тела M .

$$1 - \varphi = 0^\circ, 2 - \varphi = 30^\circ, 3 - \varphi = 60^\circ, 4 - \varphi = 90^\circ$$

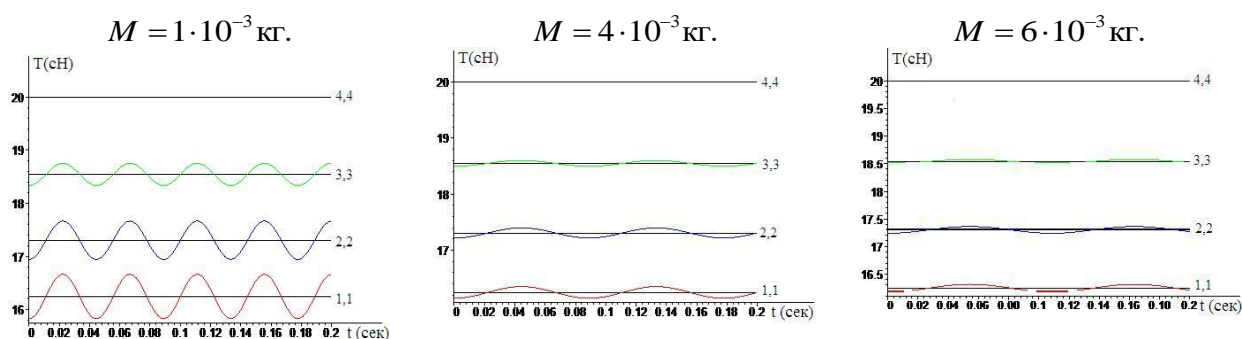


Рис.4. Изменение натяжения по времени в различных углах φ дуги контакта при относительной скорости нити $v = 30$ м/мин и различных значениях массы тела M .

$$1 - \varphi = 0^\circ, 2 - \varphi = 30^\circ, 3 - \varphi = 60^\circ, 4 - \varphi = 90^\circ$$

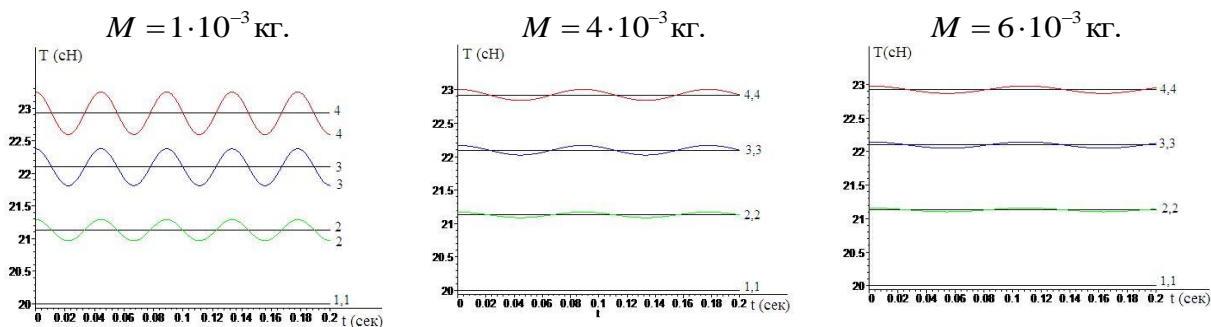


Рис.5 Изменение натяжения по времени в различных углах φ дуги контакта при относительной скорости нити $v = 50$ м/мин и различных значениях массы тела M .

$$1 - \varphi = 0^\circ, 2 - \varphi = 30^\circ, 3 - \varphi = 60^\circ, 4 - \varphi = 90^\circ$$

На приведенных графиках можно заметить, что натяжение ОЕ нити при малой скорости ($v = 10\text{м/мин}$ и $v = 30\text{м/мин}$) варьируется в пределах от 13 до 17 сН независимо от массы тела (воронки). Применение упругой воронки приводит к изменению натяжения формируемой нити, причем изменение имеет периодический характер. Амплитуда колебаний натяжения нити зависит в основном от массы тела и координаты нити на поверхности воронки. При малой скорости движения нити максимальные амплитуды наблюдаются у входа на поверхность, а при сравнительно высокой скорости ($v = 50\text{м/мин}$) большие колебания имеют место на сходе с поверхности воронки. Следует отметить, что колебательный характер изменения натяжения формируемой пряжи, независимо от координаты её расположения на поверхности воронки влияет на структуру нити, т.е. на её крутку, плотность и миграцию волокон. При благоприятных условиях под действием изменяющегося натяжения крутка распределяется в пряже более равномерно, волокна в ней уплотняются и, следовательно, улучшаются показатели её свойств. Наряду с этим может случиться, наоборот, ухудшение свойств, если неправильно подобрана жесткость упругого элемента. Поэтому рекомендуется выбирать жесткость упругого элемента с учетом линейной плотности пряжи, массы воронки и скорости прядения.

Экспериментальное исследование. Для проверки результатов теоретических исследований проведен эксперимент на ОЕ прядильной машине с применением упругой воронки в трех вариантах, т.е. питанием лентой из 100 % го хлопкового волокна из сортировки 4-I, питанием лентой из 100 % го регенерированного из прядомых отходов волокна и смешанной лентой, состоящей из 85 % регенерированного волокна и 15% волокна сортировки 4-I. Результаты испытаний полученных образцов пряжи без применения и с применением упругой воронки приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Показатели свойств ОЕ пряжи

| № | Показатели | Варианты пряжи | | | |
|---|--------------------------------------|----------------|-------|---------|-------|
| | | обычная | | опытная | |
| 1 | Линейная плотность, текс | 20 | 40 | 20 | 40 |
| 2 | Разрывная нагрузка, сН | 237 | 492 | 237 | 516 |
| 3 | Неровнота по разрывной нагрузке, % | 6,7 | 5,7 | 2,5 | 5,7 |
| 4 | Разрывное удлинение, % | 5,13 | 5,92 | 6,0 | 6,25 |
| 5 | Удельная разрывная нагрузка, сН/текс | 12,07 | 12,56 | 12,08 | 13,16 |

Таблица 2

Показатели крутки пряжи

| № | Показатели | 20текс | | | | 50текс | | | |
|---|---|---------|-----|---------|-----|---------|-----|---------|-----|
| | | обычная | | опытная | | обычная | | опытная | |
| 1 | Доля регенерированного волокна в смеси, % | 85 | 100 | 85 | 100 | 85 | 100 | 85 | 100 |
| 2 | Число кручений, кр/м | 922 | 928 | 927 | 936 | 470 | 506 | 473 | 521 |
| 3 | Неровнота по крутке, % | 4,4 | 5,3 | 3,2 | 5,2 | 3,9 | 3,4 | 5,9 | 4,7 |

Из таблицы 1 видно, что разрывная нагрузка обычной пряжи линейной плотности 20 текс, и полученной с применением упругой воронки имеет равное значение (237 сН), а неровнота по разрывной нагрузке заметно уменьшается (с 6,7% до 2,5%), что явно доказывает эффект применения упругой воронки. Что касается пряжи линейной плотности 40 текс, наблюдается другое, т.е. неровнота по разрывной нагрузке почти не изменилась, что по всей вероятности связано с необходимостью подбора упругого элемента другой жесткости.

Аналогичное явление наблюдается и с показателями крутки (Таблица 2). Неровнота по крутке пряжи двух вариантов линейной плотности 20 текс уменьшается с применением упругой воронки, а для образцов пряжи 50 текс, наоборот, неровнота по крутке увеличивается с применением упругого нитепроводника. Это явно доказывает, что упругую воронку необходимо выбирать в зависимости от технологических и кинематических параметров ОЕ прядильной машины.

Вывод. Таким образом, в результате исследования работы пряжевыводящей воронки с упругим элементом выявлена степень влияния эффекта колебаний на структурное строение нити и, следовательно, уменьшение структурной её неровноты, что необходимо регулировать путем выбора массы воронки и коэффициента жесткости упругого элемента и учитывать скорость выпуска пряжи.

References

1. G'ofurov J.K., Jumaniyazov Q.J., To'raqulov B., G'ofurov Q. Yigirish kamerasi tezligining ip xossalariga ta'siri// To'qimachilik muammolari. - Toshkent, 2007. - № 2. b. 32.
2. G'ofurov J.K., Jumaniyozov Q. J., Gofurov Q. Pnevnomexanik yigirish kamerasi diametrining ip strukturasi va xossalariga ta'siri. To'qimachilik muammolari, Toshkent 2006; №3, 50-56 b.
3. G'ofurov J.K., Jumaniyozov Q. J., To'raqulov B., G'ofurov Q. Yigirish kamerasi tezligining ip xossalariga ta'siri // To'qimachilik muammolari. Toshkent, 2007. - № 2. 32 b.
4. J. Gafurov, Y. Kyosev. FEM frequency analysis of rotors for open end spinning. Proceedings of Aachen-Dresden International Textile Conference, November 2013; 28.-29, Aachen, Germany
5. Arindam Basu. Yarn structure - properties relationship. Indian Journal of Fibre & Textile Research (IJFTR), September 2009; Volume 34(3), pp. 287-294
6. X. Y. Jiang, J. L. Hu, K. P.S. Cheng and R. Postle. Determining the Cross-Sectional Packing Density of Rotor Spun Yarns. Textile Research Journal, March 2005; Volume 75(3), pp. 233-239
7. Gafurov J.K., Sobirov A., Bobozhanov X.T., Gafurov K. Otsenka struktui pryaji na osnove eyo deformacii. Problemy tekstilya 2013; №4, s. 46-51
8. J.K. Jumaniyazov, Jahongir K. Gafurov, Mazar Peerzada. Theoretical Modeling of Tight Structure of Open-end Yarn. Science International, March 2012, Volume 24(1), pp. 37-40
9. X. Y. Jiang, J. L. Hu, and K. P. S. Cheng, Determining the Cross-Sectional Packing Density of Rotor Spun Yarns/ Textile Research Journal, 75(3), 233–239, 2004
10. Bohuslav Neckář, Mahinder Kumar Soni, and Dipayan Das. Modelling of Radial Fiber Migration in Yarns. Textile Research Journal, June 2006; Volume 76(6), pp. 486-491
11. Zhumaniyazov Q.Zh., G'ofurov Q., Alishev Sh.A., Gafurov Zh.K. Pnevnomexanik jigirish kamerasi qiya sirtida tolalar transportirovkasi zharayoni tahlili. To'qimachilik muammolari, Toshkent 2007; №1, 32-35 b
12. Makhsuda Juraeva, Dong Joo Song, and Du Hwan Chun A Design Study of an Air-twist Nozzle by Analysis of Fluid Flow, Textile Research Journal, Volume 80(15): 1616-1623, 2010
13. Rui-Hua Yang and Shan-Yuan Wang, A Mathematical Model for Rotor-Spun Composite Yarn Spinning Process/ Textile Research Journal, Vol 80(6): 487–490, 2010
14. Rui-Hua Yang and Shan-Yuan Wang, Determination of the Convergent Point in the Rotor-spun Composite Yarn Spinning Process/ Textile Research Journal, Vol 79(6): 555–557, 2009
15. Haixia Zhang, Yuan Xue Shanyuan Wang, Effect of Filament Over-Feed Ratio on Surface Structure of Rotor-Spun Composite Yarns Textile Research Journal, Vol 76(12): 922–927, 2006
16. Jambur, H.R., Kolte, P.P., Nadiger, V.G. Daberao, A.M. Effect of machine variables on rotor yarn properties// Journal of the Textile Association – 2018. – Volume 78, Issue 6 – Pages 377-383.
17. Narkhedkar, R.N. , Bagawan, A.B. Influence of rotor machine process parameters on rotor yarn quality// Journal of the Textile Association – 2015. – Volume 76, Issue 1, May-June. - Pages 5-8
18. V.P. Sherbakov. Prikladnaya strukturnaya mexanika voloknistix materialov: Monografiya: - M.: TISO PRINT, 2013 – s. 304.